

Wojtasik Wojciech, Szulc Aleksandra, Kołodziejczyk Michał, Szulc Adam. Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu wysiłku fizycznego na organizm człowieka=Selected issues concerning the impact of physical exercise on the human organism. Journal of Education, Health and Sport. 2015;5(10):350-372. ISSN 2391-8306.

DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.44392>

<http://ojs.ukw.edu.pl/index.php/johs/article/view/2015%3B5%2810%29%3A350-372>

<https://pbn.nauka.gov.pl/works/688676>

Formerly Journal of Health Sciences. ISSN 1429-9623 / 2300-665X. Archives 2011–2014

<http://journal.rsw.edu.pl/index.php/JHS/issue/archive>

**Deklaracja.**

Specyfika i zawartość merytoryczna czasopisma nie ulega zmianie.

Zgodnie z informacją MNiSW z dnia 2 czerwca 2014 r., że w roku 2014 nie będzie przeprowadzana ocena czasopism naukowych; czasopismo o zmienionym tytule otrzymuje tyle samo punktów co na wykazie czasopism naukowych z dnia 31 grudnia 2014 r.

The journal has had 5 points in Ministry of Science and Higher Education of Poland parametric evaluation. Part B item 1089. (31.12.2014).

© The Author (s) 2015;

This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poland and Radom University in Radom, Poland Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.

Received: 25.09.2015. Revised 25.10.2015. Accepted: 31.10.2015.

## Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu wysiłku fizycznego na organizm człowieka

### Selected issues concerning the impact of physical exercise on the human organism

Wojciech Wojtasik<sup>1)</sup>, Aleksandra Szulc<sup>2)</sup>, Michał Kołodziejczyk<sup>3)</sup>, Adam Szulc<sup>3)</sup>

- 1) Inżynieria Biomedyczna, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. J. Śniadeckich w Bydgoszczy
- 2) Wydział Zarządzania i Ekonomii, Politechnika Gdańska w Gdańsku
- 3) Instytut Kultury Fizycznej, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

**Słowa kluczowe:** aktywność fizyczna, wysiłek fizyczny, geny i aktywności fizyczna

**Keywords:** physical activity, physical effort, genes and physical activity

### Cel i zakres pracy

Ludzie, już w starożytnej Grecji, przywiązywali dużą wagę do zdrowego trybu życia, którego wyznacznikami są m. in.: siła mięśniowa, koordynacja nerwowo-mięśniowa, wydolność krążeniowo-oddechowa. Wysiłek fizyczny oddziałuje na poszczególne układy organizmu człowieka, w tym szczególnie na układ ruchu, krwionośny i oddechowy, neuro-hormonalny, a przez to na funkcjonowanie wielu narządów wewnętrznych. Od wieków prowadzone są liczne badania mające na celu poznanie zmian zachodzących w organizmie na skutek aktywności fizycznej. Zmiany w funkcjonowaniu organizmu poddanemu określonej wysiłkowi fizycznemu (zarówno statycznemu jak i dynamicznemu) określane są poprzez zastosowanie diagnostyki medycznej, praw fizycznych oraz diagnostyki sportowej.

W pracy opisano zmiany, jakie zachodzą w organizmie człowieka w czasie wysiłku fizycznego, w takich układach jak: kostno-stawowy, mięśniowy, krwionośny, czy też oddechowy. Opisano także procesy przystosowawcze organizmu i wykazano korzystne oraz niekorzystne działanie (fizyczne, psychiczne i społeczne) aktywności

fizycznej na organizm człowieka. Sklasyfikowano również wysiłek fizyczny w zależności od przyjętych obecnie kryteriów.

Artykuł stanowi częściowe podsumowanie zainteresowań naukowych autorów w latach 2014-2015.

### **Wybrane zagadnienia dotyczące historii badań nad wysiłkiem fizycznym**

Ludzie od bardzo dawna dążyli do udoskonalania swojego ciała – poprawy siły, zdolności motorycznych, wydolności organizmu. W starożytnej Grecji zauważano terapeutyczny wpływ aktywności fizycznej na organizm. Dobrze zbudowane, wysportowane ciało świadczyło o zdrowiu, zadbaniu, poczuciu własnej wartości. Stało się obiektem kultu. Człowiek chcąc o nie odpowiednio zadbać, wymyślał różne rodzaje aktywności fizycznej [1]. Organizowane były igrzyska sportowe, a zwycięzcy traktowani byli jak bohaterowie narodowi.

Jednym z najlepszych starożytnych lekarzy był Grek - Claudius Galenus (rzymski lekarz pochodzenia greckiego, 122-199 n.e.). W swoich badaniach wykorzystał wiedzę anatomiczną zdobytą przez poprzedników oraz dodał własne obserwacje, chociaż często błędne, wniosły wiele do rozwoju medycyny i anatomii. Galen między innymi udowodnił, że wykonywanie ćwiczeń fizycznych ma bardzo dobry wpływ na rozwój ciała. Sklasyfikował wady postawy oraz wdrożył takie pojęcia jak: skolioza, lordoza i kifoza [29].

Antoine Laurent de Lavoisier (francuski fizyk i chemik, 1743-1794) jako pierwszy udowodnił, że wysiłek fizyczny zwiększa pobieranie tlenu przez nasz organizm, zmierzył on także poziom jego zużycia. W swoim badaniu wykorzystał miedzianą maskę, zakładał ją na twarz badanego, następnie badany naciskał pedały napędzające koło, lub chodził i przenosił ciężary. Z udokumentowanego doświadczenia tj. przenoszenia przez 15 min obciążenia o masie 7 kg na odcinku 200 m, okazuje się iż badany, który w spoczynku eksploatuje 26 litrów tlenu w godzinę, podczas wysiłku fizycznego wyczerpuje 63 litry tlenu na godzinę. Jest to aż o 37 litrów więcej [23].

W 1889 roku powstała pierwsza na świecie książka „Physiologie des exercices du corp” dotycząca fizjologii wysiłku, której autorem był Fernand Lagrange (francuski lekarz i fizjolog, 1845-1909). Lagrange jako pierwszy podjął próbę opisanie pracy mięśni, zmęczenia oraz udziału układu nerwowego w wysiłku fizycznym.

W początkach wieku XX, Walter Morley Fletcher (brytyjski fizjolog, 1873-1933) i Frederick Gowland Hopkins (angielski biochemik, 1861-1947) poszukiwali związku między skurczem mięśni, a produkcją kwasu mlekowego. Swoje badania opisali w 1907 roku w pracy pt. „Kwas mlekowy w mięśniach płazów” (ang. „*Lactic Acid in Amphibian Muscle*”), która została opublikowana w czasopiśmie „The Journal of Physiology”.

W 1921 roku Archibald Vivian Hill (angielski fizjolog i biofizyk, 1886-1977) otrzymał Nagrodę Nobla, podstawą do tego były badania przeprowadzone nad metabolizmem komórki. Hill badał głównie komórkę mięśniową. Badania te wykorzystali Otto Fritz Meyerhof (niemiecki fizjolog i biochemik, 1884-1951), August Krogh (duński fizjolog, 1874-1949) oraz Hans Adolf Krebs (niemiecki lekarz i biochemik, 1900-1981) w celu opisanie podstaw teorii dotyczących cykli metabolicznych oraz przemian energetycznych w komórkach żywych organizmów. Przełom w badaniach metabolizmu mięśni nastąpił, kiedy John Scott Haldane (szkocki lekarz, filozof i wynalazca, 1860-1936) opracował sposób mierzenia zużycia tlenu wykorzystując pracujące komórki. I tak przez długi okres fizjologowie wysiłku posługiwali się urządzeniem Haldane’a do prowadzenia dalszych badań.

Dawniej dużym uznaniem w badaniach nad fizjologią wysiłku cieszył się Harvard Fatigue Laboratory założony w 1927 roku, kierowany wiele lat przez Davida B. Dill’a (amerykański fizjolog, 1891-1986). Razem z Dille badaniemi dotyczącymi zmęczenia mięśni, zajmował się Włodzimierz Jan Missiuro (polski fizjolog, 1892-1967), uważany za twórcę polskiej szkoły fizjologii wysiłku. Rezultaty swoich badań opisał m. in. w podręczniku „Zmęczenie” (1947) oraz „Zarys fizjologii pracy” (1965).

W latach 30-tych i 40-tych XX wieku August Krogh, Erik Hohwü-Christensen (duńsko-szwedzki fizjolog, 1904-1996) i Erling Asmussen (duński architekt, 1913-1998) założyli laboratoria w Kopenhadze i Sztokholmie. Przeprowadzali tam badania z metabolizmu glikogenu i przemian tłuszczów. Dzięki temu opracowane zostały normy żywienia sportowców.

W latach 50-tych XX wieku Per Olof Astrand (szwedzki fizjolog, 1922-2015), we współpracy z centrum badań medycznych w Sztokholmie, prowadził badania wykorzystując fizjologię wysiłku w medycynie. „Textbook of Work Physiology” (1970) autorstwa Per Olofa Astranda jest do dziś fundamentalną publikacją dotyczącą fizjologii wysiłku, ponieważ zawiera kluczową wiedzę z tej dyscypliny. Astrand skupiał się na analizie wydolności fizycznej, wydolności tlenowej oraz beztlenowej. Z laboratorium Olofa Astranda korzystali także znani polscy fizjologowie min. prof. Włodzimierz

Missiuro, Stanisław Kozłowski, Krystyna Nazar (polski fizjolog, 1939-2014) oraz Hanna Kaciuba – Uściłko. Stanisław Kozłowski oraz Krystyna Nazar zdobyli światowe uznanie dzięki napisanemu przez nich podręcznikowi „Wprowadzenie do fizjologii klinicznej” (1999). Zawiera on informacje na temat wpływu wysiłku fizycznego i środowiska na zmiany zachodzące w organizmie człowieka.

W 1966 roku uczeń Olofa Astranda, Jonas Bergstrom (szwedzki naukowiec, 1929-2001) jako pierwszy przeprowadził biopsję mięśnia szkieletowego człowieka. Zapoczątkowało to badania nad zmianami biochemicznymi na wyizolowanej próbce żywej tkanki mięśniowej zachodzące podczas spoczynku oraz wysiłku [24].

Profesor medycyny John O. Holloszy z Uniwersytetu Waszyngtona w St. Louis wyróżniony został w 2000 r. Nagrodą Olimpijską, za „określenie zależności pomiędzy mitochondriami, wysiłkiem a zdrowiem”. Przeprowadzał badania na szczurach w celu określenia wpływu wysiłku wytrzymałościowego na metabolizm mięśnia szkieletowego. Owe badania wykazały różnice w metabolizmie tlenowym mięśni szkieletowych [23].

### **Klasyfikacja wysiłku fizycznego**

Wysiłek fizyczny dzieli się ze względu na wiele kryteriów. Podziały dotyczą długości, intensywności oraz charakterystycznych zmian, jakie zachodzą w poszczególnych układach pod wpływem aktywności fizycznej.

Pierwszym głównym kryterium jest podział ze względu na rodzaj skurczów mięśni biorących udział w wysiłku:

- wysiłek statyczny – dominują izometryczne skurcze mięśni, czyli zmiana napięcia mięśnia bez zmiany jego długości,
- wysiłek dynamiczny – dominują izotoniczne skurcze mięśni, czyli zmiana długości mięśnia bez zmiany jego napięcia,
- wysiłek ekscentryczny – dominują ekscentryczne skurcze mięśni, czyli rozciągnięcie się mięśnia pod wpływem działającej siły zewnętrznej,
- wysiłek koncentryczny – dominują koncentryczne skurcze mięśnie, czyli zmniejszenie się długości mięśnia [9, 16, 26].

Rodzaj aktywności fizycznej determinuje liczbę mięśni pobudzanych, do wykonania danej aktywności. Inna liczba mięśni będzie uczestniczyła w bieganiu, a inna przy podnoszeniu ciężarów. Ze względu na liczbę mięśni aktywnych w danym wysiłku wyróżnia się:

- wysiłek miejscowy – ma miejsce, gdy pracuje do 30% wszystkich mięśni organizmu,
- wysiłek ogólny - ma miejsce, gdy pracuje ponad 30% wszystkich mięśni organizmu [9, 16, 26].

Kolejnym kryterium jest podział ze względu na czas trwania treningu. Długość ćwiczeń (aktywności fizycznej) zależna jest w dużej mierze od ich trudności i stosowanego obciążenia oraz zaawansowania treningowego. Wyróżniamy wysiłek:

- długotrwały – wysiłek trwający minimum 30 min, do nawet kilku godzin. Przykładami tego rodzaju wysiłku są np. biegi maratońskie, pływanie czy jazda na rowerze. Wysiłki długotrwałe swoje zasoby energetyczne czerpią głównie z przemian tlenowych,
- o średniej długości (trwa od 15 do 30 min) i krótkotrwałe przedłużone (trwa od 1 do 15 min) – Jest to np. bieg lekkoatletyczny na długości od 800 m do 10 km. Wysiłki te charakteryzują się przekroczeniem progu mleczanowego i znaczącego udziału przemian beztlenowych,
- krótkotrwały maksymalny – trwający do 60 sekund, typowym ćwiczeniem tego typu jest bieg sprinterski na dystansie 100-400 m. Energia pozyskiwana jest głównie z przemian beztlenowych [16, 26].

Każdy rodzaj aktywności fizycznej stanowi pewne obciążenie dla organizmu. Z tego powodu wyróżniamy wysiłki o różnym stopniu intensywności. Charakteryzują się one zmianami fizjologicznymi, jakie wywołują w organizmie. Wysiłek dzielimy na:

- wysiłek o niewielkim obciążeniu – wykorzystuje średnio 30-40%  $VO_{2max}$ , a serce wykonuje 110-130 uderzeń na minutę. W czasie trwania tego wysiłku zużywany jest głównie glikogen wątrobowy, a jego produkcja zaspokaja zapotrzebowanie organizmu. Zmianie nie ulega stężenie kwasu mlekowego we krwi,
- wysiłek o umiarkowanym obciążeniu – wykorzystuje około 60-70%  $VO_{2max}$ , a serce wykonuje 150-160 skurczów na minutę. W tego rodzaju wysiłkach dochodzi do zużycia glikogenu mięśniowego. We krwi następuje spadek stężenia glukozy oraz niewielki wzrost stężenia kwasu mlekowego,
- wysiłek o dużym obciążeniu – wykorzystuje średnio 90%  $VO_{2max}$ , skurcze serca są bardzo częste i zbliżone do maksymalnej wartości. Mięśnie

zużywają swoje zapasy glikogenu, a następnie wychwytyją cząsteczki glukozy z krwi. Stężenie glukozy we krwi wzrasta nieznacznie, w przeciwieństwie do znacznego wzrostu stężenia mleczanów. Nadmiar mleczanów doprowadza do obniżenia pH w komórkach, przez co zahamowana zostaje produkcja energii [5, 16].

### **Wybrane zagadnienia genetyczno-metabolicznych uwarunkowań wysiłku fizycznego**

Historia badań nad genami nie trwa długo, choć dziś jest to jedna z najsprawniej rozrastających się dyscyplin badawczych. William Bateson (brytyjski genetyk, 1861-1926) wprowadził pojęcie genetyki w 1906 roku, a same badania genetyczne dotyczące dziedziny jaką jest sport, zaczęły się ponad 50 lat później. Badano wówczas właściwości fenotypowe, a na ich podstawie szacowano wpływ genów na dane cechy. Pierwotnie koncentrowano się na cechach strukturalnych. Pierwsze takie prace dotyczyły uwarunkowań genetycznych związanych z proporcjami i wymiarami ciała. Późniejsze prace zostały rozwinięte o rozmieszczenie tkanki tłuszczowej lub proporcje włókien mięśniowych. W dalszym etapie powstały „wskaźniki odziedziczalności”, które pomagały trenerom wyselekcjonować u zawodników cechy predysponujące ich do określonego sportu. Badania dotyczące genetyki w sporcie wykorzystywane były w tzw. „ilościowej ocenie odziedziczalności”. Analizowano podobieństwa rodzinne, metodę bliźniąt lub metodę dzieci adoptowanych.

Pod koniec lat 90-tych XX wieku zaczęto zwracać szczególną uwagę na rolę genów w sporcie. W 1992 r. Bouchard wraz ze współpracownikami rozpoczął projekt o nazwie „The heritage family study”, który miał na celu określenie aktywności genów podczas wykonywania wysiłku fizycznego. Na podstawie wielu pomiarów zmian zachodzących w organizmie, badania wykazały, że zmiany te, zależne są od ekspresji genów oraz wydzielanych w wyniku tego cyklu produktów w organizmie.

Pełną sekwencję genomu człowieka ustalono definitywnie w 2003 roku. Od tego momentu zainteresowanie genetyką w sporcie zyskało większą wagę, a liczba badań i wydawanych na ten temat artykułów znacznie wzrosła [8].

Genom ludzki kształtował się przez setki pokoleń. Nasi przodkowie, którzy musieli zdobywać pożywienie, aby przetrwać, zmuszeni byli do wykonywania aktywności fizycznej [4]. W dzisiejszych czasach bardzo powszechny stał się siedzący tryb życia, niesprzyjający dla tak ukształtowanego genomu. Objawia się to często wieloma dolegliwościami, w dużej mierze ze strony układu krążenia. Korzystne oddziaływanie

genów na funkcjonowanie organizmu uwarunkowane jest więc wykonywaniem aktywności fizycznej.

Na podstawie badań przeprowadzonych na bliźniętach jednojajowych udowodniono, że wraz z upływem lat zdolności do wysiłku fizycznego różniły je coraz bardziej [22]. Tak więc, nie tylko zestaw genów, z którymi się rodzimy determinuje nasze zdolności fizyczne, duży wpływ ma również środowisko zewnętrzne, w którym dorastamy, sposób odżywiania oraz tryb życia, jaki prowadzimy. Człowiek w swym genomie zawiera około 30 000 różnych genów, więc zdolności do wykonywania wysiłku fizycznego, są składową ekspresji posiadanych genów [17].

Geny poprzez zawartą w nich sekwencję nukleotydów, stanowią informację genetyczną, która umożliwia syntezę pewnych białek lub cząstek kwasu RNA.

Najważniejsze geny odpowiedzialne za uwarunkowania związane z wysiłkiem fizycznym:

- GDF8 (MSTN) – gen kodujący miostatynę, białko ograniczające przyrost masy mięśniowej, dezaktywacja tego genu powoduje wzmożone przybieranie masy mięśniowej przez organizm [21]. Osoby z wyższym stężeniem miostatyny, charakteryzują się niższą tolerancją do wysiłku [17].
- ADRB2 – gen kodujący receptor adrenergiczny  $\beta 2$ . Receptory  $\beta 2$  licznie występują w tkance płucnej, a aktywacja ich doprowadza do zmniejszenia napięcia mięśni gładkich i rozszerzenia światła oskrzeli, co zwiększa objętość wentylacyjną płuc [10].
- ADRB3 – gen kodujący receptory adrenergiczne  $\beta 3$  biorące udział w procesie lipolizy i termogenezy. Receptory  $\beta 3$  znajdują się głównie w brunatnej tkance tłuszczowej, odpowiedzialnej za wydzielanie ciepła. Receptory  $\beta 3$  odpowiadają za rozpad tłuszczów i transport glukozy do brunatnej tkanki tłuszczowej. Mniejsza czułość tych receptorów występuje u osób otyłych [22].
- Neuropeptyd- Y (NPY, ang. *Neuropeptide Y*) – należy do białek trzustkowych, w organizmie występuje głównie, jako neuroprzekaźnik w neuronach noradrenergicznych, a także w rdzeniu przedłużonym i podwzgórzu. Gen kodujący NPY występuje w dwóch formach: homozygoty i heterozygoty. Poprzez ośrodkowy układ nerwowy wpływa na zarządzanie: pamięcią, stanami lękowymi, rytmem dobowym, funkcjami żywieniowymi. W układzie obwodowym odpowiada za: skurcz naczyń krwionośnych, procesy aterogenne, ciśnienie

tętnicze, perystaltykę jelit, wewnątrzwydzielniczą funkcję nabłonka układu pokarmowego i nerkowego, hamuje skurcze mięśniówki gładkiej układu rozrodczego i oddechowego, hamuje uwalnianie insuliny [3]. Uwalnianie peptydu wzmagają się po intensywnym wysiłku fizycznym. Osoby z heterozygotyczną formą genu NPY, charakteryzuje wyższe stężenie hormonu wzrostu we krwi, po poddaniu ich wysiłkowi submaksymalnemu w porównaniu do homozygot [22].

- VDR – gen kodujący receptor witaminy D (receptor kalcytriolowy). Znajduje się m.in. w mięśniach szkieletowych, mięśniu sercowym, jelitach, nerkach, kościach. Odpowiada za aktywność witaminy D, której właściwości korzystnie wpływają na gęstość kości, określanej przez współczynnik BMD (ang. *Bone Marrow Density*) używany w stwierdzaniu osteoporozy. Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami polimorfizmów receptora VDR, wykazano korzystny wpływ niektórych polimorficznych VDR na stopień gęstości kości u osób będących aktywnymi fizycznie [22].
- IGF-1 – jest insulinopodobnym czynnikiem wzrostu 1, zwanym także, jako somatomedyna C. Jest on wytwarzany przez wątrobę po aktywacji przez hormon wzrostu, który odpowiedzialny jest również za stężenie IGF-1 (ang. *Insulin-like Growth Factor 1*) w organizmie. Zadaniem IGF-1 jest stymulacja do budowy struktury kości i tkanki chrzęstnej [22].
- ACE – to gen kodujący enzym angiotensynę odpowiedzialną m.in. za regulowanie przepływu krwi przez mięśnie. ACE jest głównym elementem układu angiotensyna-renina odpowiedzialnego za regulowanie ciśnienia krwi [8].
- EDN-1 – to gen kodujący białko - endotelinę (ET, ang. *Endothelin*). Białko to, występuje głównie w nerkach i mózgu. Działanie krążącej we krwi endoteliny, polega na zwężaniu naczyń krwionośnych. Odpowiada za utrzymanie prawidłowego napięcia ścian naczyń oraz utrzymanie prawidłowego przepływu płynu ustrojowego [22].
- ANG – to gen kodujący białko - angiogenezę, która posiada zdolność do tworzenia nowych naczyń krwionośnych. Wpływa to na wydolność fizyczną, warunkując prawidłowe ukrwienie mięśni [22].
- TGF- $\beta$ 1 – jest cytokiną, wytwarzaną przez komórki dendrytyczne, leukocyty i komórki NK (ang. *Natural Killer*). TGF- $\beta$ 1 pobudza wzrost fibroblastów, a na limfocyty T i B ma wpływ immunosupresyjny [26]. Może powodować wzrost



komórek, proliferację, różnicowanie oraz apoptozę, w zależności od typu komórek, na które oddziałuje. Odkryto powiązanie pomiędzy czynnikiem TGF- $\beta$ 1 a ANG (ang. *Angiotensin*), podczas wykonywania nagłego wysiłku fizycznego, współdziałanie obu tych materii korzystnie wpływa na systoliczne ciśnienie krwi [22].

- COLIA1 i COLIA2 - to geny kodujące łańcuchy polipeptydowe alfa1 i alfa2 kolagenu typu I. W ponad 90% przypadkach, mutacja tych genów powoduje wrodzoną łamliwość kości [13]. Każdy typ kolagenu ma strukturę potrójnej helisy, dzięki obecności reszt glicynowych, co nadaje skórze, ścięgnom, kościom i powięziom odpowiednią elastyczność i wytrzymałość. Jego obecność określa właściwości fizyczne danej tkanki [25].

### **Wpływ wysiłku fizycznego na układ kostno-stawowy i mięśniowy**

Narząd ruchu człowieka stanowią: układ kostno-stawowy oraz mięśniowy. Głównym zadaniem układu kostno-stawowego jest pełnienie funkcji podporowej. Ruchy wykonywane w stawach mają charakter bierny i odbywają się dzięki skurczom mięśni szkieletowych.

Wysiłek fizyczny przyspiesza zamianę tkanki chrzęstnej w kostną, wspomagając tym samym proces wzrostu. Tkanka kostna szkieletu staje się stabilniejsza i odporniejsza na urazy. Regularna i optymalnie dobrana do wieku aktywność fizyczna dzieci i młodzieży koryguje wady postawy oraz zapobiega tworzeniu się odkształceń.

Regularny wysiłek fizyczny połączony z dietą bogatą w wapno i witaminę D korzystnie wpływa na stopień mineralizacji kości. Mówi się o hipertrofii kości, czyli zmianie ich kształtu, długości oraz szerokości. Odpowiednia struktura kości jest bardzo ważna, gdyż chroni ją przed złamaniami oraz jest czynnikiem zapobiegającym rozwojowi osteoporozy. Wysiłek fizyczny wykonywany w latach młodzieńczych dostarcza znacznie większych korzyści niż aktywność wykonywana w latach późniejszych [9, 17, 28].

Aktywność fizyczna poprzez wpływ na ukształtowanie powierzchni stawowych, doprowadza do wzrostu zakresu ruchomości danego stawu. Polepszają się parametry elementów budujących staw m.in. wzrasta elastyczność i sprężystość torebek stawowych oraz więzadeł.

Wykonywane ruchy w stawach wspomagane są przez mięśnie, dlatego ważne jest utrzymanie w dobrej kondycji i ciągłe rozwijanie całego układu ruchu, przez regularne wykonywanie ćwiczeń ogólnorozwojowych.

Wysiłek fizyczny oddziałuje w znaczącym stopniu na tkankę mięśniową. Jedną z form ochrony układu ruchu przed uszkodzeniem jest wystąpienie zmęczenia oraz bólu. Z tego powodu mięśnie tracą zdolność do wytwarzania siły. Im dłużej mięsień jest stymulowany, tym dłużej następuje jego rozkurcz [17, 31]. Gdyby nie zmęczenie można by było w łatwy sposób doprowadzić do poważnego uszkodzenia mięśnia i zaburzenia jego homeostazy. Dlatego niewskazane jest stosowanie środków znoszących objawy zmęczenia.

Zmęczenie może rozwijać się w układzie ruchowym (zmęczenie obwodowe) oraz w układzie nerwowym (zmęczenie ośrodkowe). Przyczyny wpływające na występowanie zmęczenia obwodowego objawiające się osłabieniem siły mięśnia i zmniejszeniem maksymalnej szybkości skracania mięśnia, są następujące:

- nienadążanie z resyntezą ATP w stosunku do jego zużycia i równoczesny wzrost stężenia ADP w mięśniu,
- nagromadzenie się produktów powstałych w procesach beztlenowych, takich jak mleczany oraz jony wodoru powodujące zakwaszenie mięśnia,
- nagromadzenie się fosforanu nieorganicznego powstałego w wyniku hydrolizy ATP [16].

Intensywny wysiłek fizyczny powoduje zmiany metaboliczne w centralnym układzie nerwowym (CUN). CUN pobiera w czasie wysiłku mniej tlenu w stosunku do zużywanej glukozy, wpływając na zmniejszenie ilości potencjałów czynnościowych w motoneuronach. Oznacza to niemożność do podjęcia wysiłku spowodowaną brakiem substratów energetycznych. Dodatkowo wiele wskazuje, że zmęczenie ośrodkowe ma podłoże psychiczne:

- odczuwane jest szybciej niż zmęczenie obwodowe,
- odpowiednia motywacja do kontynuowania ćwiczeń, może wydłużyć czas ich trwania pomimo odczucia zmęczenia,
- właściwy trening może zwiększyć poziom tolerancji na zmęczenie [9, 16].

Zespół opóźnionej bolesności mięśni („zakwasy”) określa ból i napięcie mięśni występujące po wysiłku fizycznym. Dotyczy to przeważnie mięśni wcześniej niepoddawanych intensywnemu obciążeniu. Występuje u osób rozpoczynających trening danej partii mięśni oraz u sportowców, którzy powrócili do treningów po dłuższej przerwie. Ból mięśni objawia się najczęściej od 24 do 72 godzin po wysiłku. Spowodowany jest niszczeniem najsłabszych sarkomerów, powodując reakcję zapalną w

mięśniu. Następstwem tego jest pojawienie się leukocytów, makrofagów oraz mediatorów zapalenia, zwiększających pobudliwość tkanki nerwowej, a tym samym wrażliwość na odczucia bólowe. Zniszczone włókna mięśniowe podlegają procesowi regeneracji następującemu dzięki obecności komórek satelitarnych [14, 16, 19].

### **Wpływ wysiłku fizycznego na układ krwionośny i oddechowy**

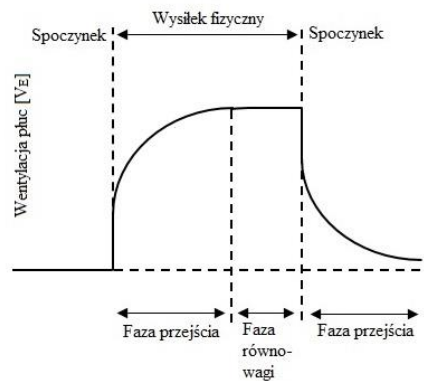
W czasie trwania wysiłku dynamicznego zwiększa się częstość skurczów serca (HR, ang. *Heart Rate*) w celu zaspokojenia zwiększonego zapotrzebowania na tlen. Towarzyszy temu wzrost objętości wyrzutowej serca, która osiąga swoją maksymalną wartość już przy 30-50%  $VO_{2max}$ . Wzmocniona praca serca powoduje wzrost przepływu krwi głównie w pracujących mięśniach szkieletowych, sercu i skórze kosztem zmniejszenia przepływu przez nerki, wątrobę oraz narządy trzewne. Zmienia się także wartość ciśnienia. Znaczna różnica jest w przypadku ciśnienia skurczowego, wysiłek powoduje jego wzrost proporcjonalnie do intensywności wysiłku. Ciśnienie rozkurczowe ulega tylko niewielkim zmianom.

W wysiłkach statycznych nie występuje zależność od zapotrzebowania na tlen. Następuje duży wzrost ciśnienia zarówno skurczowego jak i rozkurczowego, co jest skutkiem wzrostu objętości minutowej serca. Układ krwionośny reaguje na wysiłki statyczne proporcjonalnie do siły skurczu mięśni [9, 16].

Długotrwałe treningi o charakterze wytrzymałościowym doprowadzają do spadku częstości skurczów serca. Zjawisko to określane jest bradykardią spoczynkową, w której ilość skurczów serca wynosi 30-40 uderzeń na minutę, co jest charakterystyczne dla osób wytrenowanych. Bradykardia spoczynkowa zwiększa objętość wyrzutową serca, aby utrzymać stałą objętość minutową serca. Wykonywanie wysiłków submaksymalnych zwiększa tętno tlenowe, czyli ilość pobieranego tlenu w stosunku do częstotliwości skurczów serca. Osiągnięcie tego samego poziomu objętości minutowej serca przy mniejszej HR, powoduje mniejsze zapotrzebowanie serca w tlen [12, 19, 22]. W czasie wysiłku o natężeniu submaksymalnym, przepływ krwi w pracujących mięśniach jest mniejszy niż w narządach wewnętrznych i skórze [9, 16].

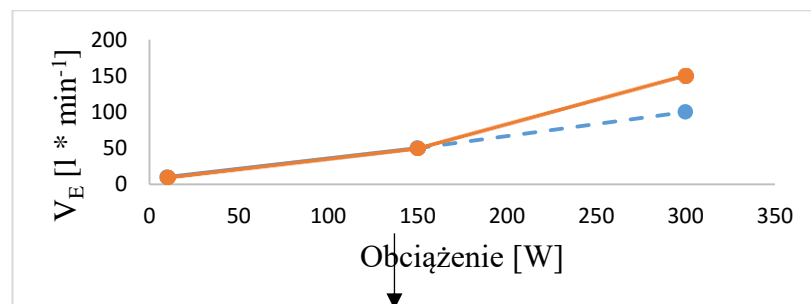
W trakcie wysiłku fizycznego organizm zwiększa swoje zapotrzebowanie na tlen, wzmagając się więc proces wentylacji płuc. Na ryc. 1. przedstawiono etapy wentylacji płuc zachodzące podczas wysiłku. Po rozpoczęciu treningu następuje wzrost  $V_E$  (wentylacja minutowa), cykl oddechowy przyspiesza i staje się głębszy. Gwałtowny wzrost  $V_E$ , trwa kilka sekund po wszczęciu aktywności, następnie tendencja ta zwalnia aż osiąga poziom ustabilizowania. Faza przejścia występuje momencie zaprzestania wykonywania

czynności. W przypadku intensywnego wysiłku wartość  $V_E$  ciągle wzrasta, faza równowagi nie występuje [16, 19].



Ryc. 1. Etapy wzrostu wentylacji płuc podczas wysiłku fizycznego [16]

Podczas wykonywania wysiłku fizycznego o małej intensywności  $V_E$  rośnie proporcjonalnie do  $VO_2$  aż osiągnie 50-75%  $VO_{2max}$  co przedstawia ryc. 2. Moment, w którym wzrost wentylacji przewyższa poziom wzrostu obciążenia określany jest jako próg wentylacji i wyznacza pojawiający się w tym samym czasie próg mlekczanowy. Następuje uwalnianie do krwi kwasu mlekowego, powodującego kwasicę metaboliczną. Intensywny wysiłek fizyczny zmusza organizm do zaciągnięcia długu tlenowego. Zaciągnięty dług tlenowy, oddawany jest po zakończeniu treningu dzięki zwiększonej wentylacji spoczynkowej, do momentu uregulowania właściwego poziomu kwasu mlekowego [4, 16].



Ryc. 2. Moment przekroczenia progu mlekczanowego podczas wzrastającego obciążenia i wentylacji płuc [16]

W czasie wysiłku zwiększa się zapotrzebowanie organizmu na tlen. Płuca posiadają rezerwy pozwalające na dostarczenie dodatkowej ilości tlenu. W sytuacji większego zapotrzebowania na tlen, początkowo następują głębsze oddechy bez zwiększenia ich częstotliwości. Jest to bardzo korzystne rozwiązanie, ponieważ zwiększenie częstotliwości wymaga znacznie większych nakładów energii. W trakcie

głębokiego oddychania wykorzystywana jest zawartość zapasowa: wdechowa jak i wydechowa [9]. Jeśli zapotrzebowanie organizmu na tlen jest większe, zwiększana jest częstotliwość oddechów, co znacząco zwiększa zużycie energii i wpływa na wzrost zmęczenia.

Podczas wysiłku umiarkowanego i intensywnego zmieniają się wartości ciśnień parcjalnych tlenu i dwutlenku węgla w pęcherzykach płucnych, krwi tętniczej oraz krwi żyłnej (tab. 1). W trakcie wysiłku wzmagają się procesy dyfuzji cząsteczek gazów.

Tabela 1. Wartości ciśnień parcjalnych O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> w stanie spoczynku i podczas wysiłku fizycznego [9] odpowiednio w pęcherzykach płucnych (P<sub>A</sub>), krwi tętniczej (P<sub>a</sub>) i krwi żyłnej (P<sub>v</sub>)

	P <sub>A</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	P <sub>a</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	P <sub>a</sub> CO <sub>2</sub> (mmHg)	P <sub>v</sub> O <sub>2</sub> (mmHg)	P <sub>v</sub> CO <sub>2</sub> (mmHg)
Spoczynek	100	95	40	40	46
Wysiłek umiarkowany	100-125	95	40	32	46
Wysiłek intensywny	≥ 125	105	< 20	< 20	< 35

### Wpływ wysiłku fizycznego na układ nerwowy człowieka

Ośrodkowy układ nerwowy (OUN) zwiększa siłę skurczu mięśni, po rozpoczęciu wysiłku fizycznego poprzez:

- zwiększenie udziału jednostek motorycznych w momencie wykonywanej aktywności,
- generowanie przez motoneurony większej ilości potencjałów.

Siła skurczu mięśnia oraz liczba biorących w nim udział jednostek motorycznych różni się w zależności od poziomu wytrenowania. Osoby rzadko trenujące nie są w stanie zaangażować tylu jednostek ruchowych oraz wygenerować taką siłę jak osoby trenujące regularnie.

OUN dzięki odpowiednim mechanizmom polegającym na naprzemiennej aktywacji do wykonania pracy różnych mięśni, a w pojedynczym mięśniu różnych jednostek motorycznych, opóźnia pojawienie się zmęczenia ośrodkowego [16].

Umiarkowany wysiłek fizyczny działa ochronnie na centralny układ nerwowy. Głównym czynnikiem przyczyniającym się do tego jest insulinopodobny współczynnik wzrostu (IGF-1), którego receptory licznie występują w centralnym układzie nerwowym. IGF-1 hamuje proces apoptozy komórki nerwowej oraz nasila syntezę białek biorących udział w procesie neurogenezy.

Regularny trening danego ruchu powoduje lepszą koordynację nerwowo-mięśniową. W efekcie tego, do wykonania ruchu zaangażowane są tylko mięśnie bezpośrednio do tego przeznaczone. Doprowadza to do sprawniejszego wykonania ruchu, przy mniejszych kosztach energetycznych. Ruchy wykonywane są precyzyjnie i harmonijnie, co jest cechą charakterystyczną dla wytrenowanych sportowców [9].

### **Adaptacja organizmu człowieka do wysiłku fizycznego**

W organizmie osób regularnie poddających się aktywności fizycznej, zachodzi szereg zmian anatomicznych oraz fizjologicznych. Na skutek działania bodźców treningowych organizm zwiększa swoje zdolności oraz odporność na występujące obciążenia. Następuje szybsza regeneracja organizmu po treningu.

#### **Adaptacja układu oddechowego**

Układ oddechowy przechodzi przez dwie fazy adaptacji do wysiłku fizycznego. Pierwsza polega na zwiększeniu wentylacji płuc, na skutek bodźców czuciowych docierających do ośrodka oddechowego z pracujących mięśni i stawów. Druga faza adaptacji dotyczy aktywności czuciowej, reagującej na zmiany temperatury oraz ciśnienia parcjalnego gazów oddechowych. Treningi wytrzymałościowe rozwijają siłę mięśni odpowiadających za proces oddychania, dzięki czemu płuca są w stanie ulepszyć proces wentylacji. Podczas długotrwałych treningów częstość oddechów spada przy równoczesnym wzroście ich głębokości. Dzięki temu, mięśnie oddechowe w dużo mniejszym stopniu doznają efektów zmęczenia [20].

#### **Adaptacja układu nerwowego**

Układ nerwowy charakteryzuje się umiejętnością do zapamiętywania ruchów. Za zapamiętywanie odpowiada głównie kora mózgowa, natomiast w uczeniu się poszczególnych ruchów biorą udział mózdzek i jądra podkorowe. Pamięć odpowiedzialna za zapamiętywanie ruchów nazywana jest pamięcią ruchową. Zapamiętane ruchy mogą występować w pamięci wtórnej i być w niej do końca życia, tak jak np. jazda na rowerze. Nieskomplikowane ruchy przyswajane są szybciej niż złożone. Trzeba jednak pamiętać o tym, że największe postępy przynoszą trudniejsze treningi, z którymi na początku trudno jest sobie poradzić. Powtarzanie określonego ruchu, doprowadza do ograniczenia aktywności zbędnych mięśni biorących udział w jego wykonaniu. Skutkiem tego jest lepsza koordynacja i wykonanie danego wzorca ruchowego. Udowodniono, że samo wyobrażanie wykonania danego ruchu w pamięci, czyli trening samego układu nerwowego powoduje zwiększenie siły skurczu mięśnia [16].

### **Adaptacja układu krwionośnego**

Regularne treningi mają wpływ na strukturę serca oraz liczbę naczyń mikrokrążenia. Serce sportowca charakteryzuje mniejszym HR, zwiększoną masą. Trening korzystnie wpływa na umięśnienie serca i powiększenie jego jam, zwiększając jego objętość. Takie zmiany wywoływane są przez powiększanie się komórek sercowych (przerost). Przerost ekscentryczny wiąże się z powiększeniem jam serca natomiast koncentryczny z pogrubieniem jego ścian równocześnie zmniejszając objętość jam. Nie stwierdzono, aby wysiłek fizyczny mógł spowodować patologiczny przerost serca [16].

Systematyczny trening wytrzymałościowy wpływa na zwiększenie liczby naczyń włosowatych w mięśniach i dotyczy to tylko mięśni trenowanych. Zwiększenie liczby naczyń włosowatych oznacza lepsze ukrwienie mięśnia, a więc i dostęp do większej ilości substancji energetycznych. Taki stan może utrzymywać się nawet kilka tygodni po zakończeniu ćwiczeń. Zwiększona zostaje również średnica tętnic oraz przepustowość małych tętniczek. Dotyczy to również tętnic wieńcowych, co sprzyja przerostowi ekscentrycznemu serca [20].

### **Adaptacja układu kostno-stawowego**

Regularne wykonywanie ćwiczeń fizycznych wpływa korzystnie na metabolizm kości. Z czasem struktura kości na skutek aktywności fizycznej, ulega zmianom. Następuje wzrost zagęszczenia beleczek kostnych, co znacznie ulepsza właściwości biomechaniczne kości. Wysiłek fizyczny w wieku młodzieńczym, znacząco wzmacnia strukturę kości, przynosząc korzyści w latach późniejszych. Zaletą dobrej mineralizacji kości jest przeciwdziałanie wystąpieniu osteoporozy, występującej w szczególności u osób starszych. Kości oraz powierzchnie stawowe na skutek działających na nie obciążeń ulegają zmianom kształtu, długości, szerokości. Umożliwia to, w miarę postępów treningu, zwiększenie zakresu ruchomości oraz mocniejszą budowę stawów [9, 28].

### **Adaptacja wysiłkowa**

W treningu bardzo ważny wpływ na jego efektywność ma odpowiedni dobór obciążenia. Obciążenie, które wywołuje minimalny efekt adaptacyjny nazywane jest obciążeniem progowym. Poddanie się zbyt małej intensywności ćwiczeń nie przyniesie wymiernych efektów, jakie organizm jest w stanie osiągnąć. Natomiast zbyt duże obciążenie spowoduje zaburzenie procesów adaptacyjnych, powodując gwałtowny spadek efektywności treningu. Odpowiednia intensywność treningu powinna, więc przekraczać wartość progową we właściwym stopniu. Oprócz doboru właściwego obciążenia powinno się przestrzegać czterech zasad dotyczących efektywnego rozwoju organizmu:

- specyficzność – polega na tym, aby skupić się na adaptacji głównie tych funkcji organizmu, które są najbardziej potrzebne do wykonywania określonego rodzaju sportu,
- odwracalność – osiągnięte wyniki wydolnościowe organizmu dzięki długotrwałym procesom adaptacyjnym, po zaprzestaniu treningów zanikają i słabną,
- pozytywne oddziaływanie wzajemne – każda seria ćwiczeń oddzielnie wpływa na proces adaptacji. Zasada ta obowiązuje, jeżeli efekt sumaryczny powtarzanych ćwiczeń spowoduje zmiany adaptacyjne,
- cykliczność – fazy adaptacji do wysiłku pojawiają się w różnym tempie, dlatego należy ćwiczenia powtarzać podczas każdej sesji treningowej [9].

### **Adaptacja tkanki mięśniowej**

Tkanka mięśniowa posiada zdolności adaptacyjne do określonego rodzaju wysiłku fizycznego, wytrzymałościowego lub siłowego. Adaptacja wyraża się poprzez przerost włókien mięśniowych szybkich lub wolnych. W sportach wymagających wygenerowania szybkiej pracy mięśni np. sprint lub sporty walki, następuje przerost włókien szybkich. W przypadku wolniejszej pracy mięśni np. podczas biegu długodystansowego, podnoszenia ciężarów pobudzane do przerostu są włókna wolne. Ukształtowanie jednego z tych rodzajów włókien wpływa negatywnie na ten drugi, przez co osoba biegająca maratony nie osiągnie tak dobrych wyników w sprincie. Zmiany adaptacyjne najszybciej zachodzą u osób, które wcześniej nie wykonywały regularnych aktywności fizycznych i prowadziły siedzący tryb życia. W momencie, gdy organizm zbliża się do swojego maksimum wydolnościowego, efekty treningu stają się coraz mniej zauważalne, wówczas należy odpowiednio zmodyfikować przeprowadzany trening, jednak w taki sposób, aby stopniowo dostosowywać obciążenie treningowe, czas trwania treningu, do możliwości trenującego. W miarę upływu czasu, koszt energetyczny wykonywanych treningów maleje, a mięśnie zużywają mniejsze zasoby energii [9, 20, 31].

### **Podsumowanie**

#### **Wpływ aktywności fizycznej na ciało człowieka**

Skutkiem wykonywania aktywności fizycznej jest szereg korzystnych zmian zachodzących we wszystkich układach organizmu. Regularne wykonywanie ćwiczeń doprowadza do powstania procesów przystosowawczych poszczególnych układów w stosunku do zadanych obciążeń, znacząco poprawiając wydolność organizmu.



Znaczące zmiany zachodzą w układzie ruchu. W układzie kostno-stawowym ćwiczenia formują powierzchnie stawowe, wpływają na elastyczność więzadeł i torebek stawowych. Ruch powoduje również uwapnienie kości. Dobry współczynnik gęstości kości powoduje, że kość jest bardziej wytrzymała. W układzie mięśniowym natomiast ćwiczenia oddziałując na mięśnie, zwiększają ich masę i siłę. Aktywność ruchowa gwarantuje właściwą długotrwałą elastyczność mięśni oraz powoduje, że objętość mięśni maleje w o wiele mniejszym stopniu niż w przypadku braku aktywności fizycznej.

W układzie nerwowym ruch bierny oddziałuje, jako impuls proprioceptywny, natomiast ruch czynny stymuluje ośrodkowy układ nerwowy. Ćwiczenia rozwijają pamięć ruchową i szybkość interakcji na bodźce zewnętrzne.

Zauważalne są również zmiany w układzie oddechowym. Wyćwiczone osoby cechuje przyrost pojemności życiowej płuc, ponadto hiperwentylacja jawi się przy wykonywaniu cięższych prac, dzięki temu zminimalizowanie zostaje odczucie duszności przy dużych obciążeniach. Ćwiczeniom najłatwiej podporządkowują się mięśnie oddechowe i elastyczna tkanka płucna. Sprawnie działający układ oddechowy ma duży wpływ na wydolność fizyczną człowieka.

Treningi korzystnie oddziałują na układ krwionośny. Przerost jam serca sprawia, że serce zwiększa swoją objętość wyrzutową, zachowując stałą objętość minutową przy mniejszej ilości skurczów serca, a więc oszczędzając zasoby energetyczne. W mięśniach poddawanych treningom zwiększa się liczba naczyń włosowatych a w sercu liczba naczyń wieńcowych. Wzmagając tym samym ich ukrwienie.

Układ trawienny wraz z układem moczowo-płciowym także dostosowuje się do ćwiczeń fizycznych. Treningi poprawiają motorykę przewodu pokarmowego i zwiększają wydolność wątroby i nerek. Aktywność fizyczna zapobiega powstawaniu zaprac, kamieni moczowych oraz zaleganiu moczu w przewodach moczowych.

### **Korzyści psychiczne wynikające z uprawiania sportu**

Wysiłek fizyczny wykazuje dodatni wpływ także na zdrowie psychiczne. W momencie uprawiania sportu rozładowywane są negatywne emocje osoby trenującej, następuje ogólna poprawa samopoczucia. U osób tych zmniejsza się skala lęku, czy też stan depresyjny. Poprawia się sen jak i samo zasypianie, lecz warunkiem jest tu odpowiednia pora treningu tj. najpóźniej do godziny 17. Trening taki nie może doprowadzić do nadmiernego przetrenowania.

Wykonywanie ćwiczeń dowartościowuje człowieka. Widoczna poprawa budowy ciała czy samopoczucia zwiększają motywację do dalszego działania. Człowiek

pokonując swoje granice zaczyna wierzyć w siebie, w swoje możliwości czuje że może osiągnąć czego tylko zapragnie, wystarczy tylko odpowiednia praca w tym kierunku.

Duże znaczenie ma także swoboda w wyborze interesującej nas aktywności fizycznej. Dobrowolny wybór metody treningowej daje poczucie niezależności i świadomości, że robimy coś dla własnej przyjemności. Trening jest znakomitą odskocznią od problemów życia codziennego.

### **Korzyści społeczne wynikające z uprawiania sportu**

W ujęciu wychowawczym aktywność fizyczna kształtuje u ludzi wiele pozytywnych cech, są nimi: wytrwałość, odpowiedzialność, rozwój zainteresowań, kształtowanie ciała i osobowości. Wiele dobrych cech wnosi do życia uczestnictwo w grach zespołowych. Uczą one współdziałania i współzawodnictwa, a także przestrzegania zasad. Wspólna walka zespołowa zakończona porażką również czegoś uczy, pozwala na wyciągnięcie wniosków, przeanalizowanie swoich błędów i przez to motywuje do lepszej gry.

Zdrowotne aspekty wysiłku fizycznego powodują, że do korzyści zaliczyć można jeszcze zmniejszenie korzystania z usług lekarskich oraz zwiększenie zdolności do pracy osób w podeszłym wieku [14, 15].

### **Zapobieganie chorobom**

Prawidłowa praca i rozwój organizmu poprawia poziom wydolności organizmu oraz zapobiega wystąpieniu niektórych chorób cywilizacyjnych (np. otyłość, cukrzyca). Im szybciej rozpocznie się prowadzenie aktywnego trybu życia, tym więcej korzyści można doświadczyć w latach późniejszych. Osoby aktywnie spędzające swój czas mogą cieszyć się dłuższym życiem jak i poprawą jego jakości. Aktywność w zaawansowanym wieku również niesie za sobą wiele korzyści. Ćwiczenia mogą zapobiegać lub nawet likwidować niektóre stany chorobowe i bólowe.

Brak aktywności ruchowej może sprzyjać rozwojowi cukrzycy typu 2. U osób uprawiających regularnie sport ryzyko zachorowania na cukrzyce spada nawet do 50%. Jednak nie każda aktywność fizyczna zalecana jest dla osób chorych. Odpowiednie ćwiczenia takiej osobie pomoże dobrać specjalista. Chorzy powinni wykonywać ćwiczenia o charakterze tlenowym (np. jazda rowerem).

Liczne badania udowodniły, że brak aktywności fizycznej to jedna z głównych przyczyn występowania otyłości. Ćwiczenia regulują zaburzenia metabolizmu, które towarzyszą tej chorobie. Skutkują one zmniejszeniem poziomu insuliny i lipidów. Zalecając uprawianie sportu osobom otyłym należy zwrócić uwagę na zawyżone

przeciążenie narządów ruchu już w stanie spoczynku. Zbyt duża masa ciała jest przyczyną zmian zwyrodnieniowych kręgosłupa. Osobom z otyłością zaleca się najczęściej jazdę rowerem, podczas której obciążany jest odcinek lędźwiowy, lub np. pływanie [7].

U osób uprawiających sport wzrasta objętość krwi o 15-20%. Dzięki temu dostawa tlenu w organizmie zwiększa się. Regularny trening przynosi wzrost cholesterolu HDL, jednocześnie obniża zawartość szkodliwego cholesterolu LDL, będącego głównym powodem tworzenia się blaszek miażdżycowych.

Sport zapobiega również wadom postawy. Poprzez wzmocnienie układu mięśniowego, który utrzymuje sprawność kręgosłupa. Formy ruchu doradzane w leczeniu wad kręgosłupa to min. pływanie, marsz czy jazda rowerem.

W sytuacjach niedowładów czy porażen mięśniowych, właściwie dobrane ćwiczenia mogą pomóc w powrocie do ich prawidłowego funkcjonowania. Ponadto odpowiednie ćwiczenia mogą zmniejszyć lub nawet usunąć zaburzenia równowagi i koordynacji.

### **Negatywne skutki nadmiernego wysiłku**

Organizm ludzki wyposażony jest w wiele mechanizmów zapobiegających wystąpieniu niekorzystnych zmian fizjologicznych na skutek wysiłku fizycznego. Większość mechanizmów obronnych aktywowanych jest dużo szybciej, jeszcze przed wystąpieniem realnego zagrożenia dla zdrowia zawodnika. Jednakże nie należy całkowicie ignorować sygnałów obronnych dochodzących z organizmu, gdyż może to doprowadzić to poważnych problemów zdrowotnych, a nawet zgonu. Do takich sygnałów należą: ból i zmęczenie.

### **Powikłania kardiologiczne**

Nadmierny wysiłek fizyczny może doprowadzić do powikłań kardiologicznych. Powikłania te mogą spowodować znaczny uszczerbek na zdrowiu lub przyczynić się do nagłego zgonu zawodnika. Nagły zgon stwierdza się w momencie, gdy śmierć zdrowej osoby nie spowodowały czynniki urazowe, tylko intensywny wysiłek fizyczny. Najczęstszą przyczyną nagłego zgonu jest miażdżycowa naczyn wieńcowych prowadząca do zawału serca. Głównymi przeciwwskazaniami w uprawianiu sportu są wady układu krążenia. Powikłania kardiologiczne dotyczą zwykle osób, u których już wcześniej stwierdzono pewne zmiany patologiczne układu krążenia. Inne dolegliwości ze strony układu krążenia to: arytmie serca, wypadanie płotka zastawki mitralnej oraz bóle w klatce piersiowej. Intensywna aktywność fizyczna nie jest więc wskazana dla każdego. Zaleca się przed podjęciem intensywnych ćwiczeń, wizytę u lekarza w celu poddania się badaniu

podmiotowemu i przedmiotowemu oraz pomiaru ciśnienia krwi i innych podstawowych badań diagnostycznych. Wskazane jest także wykonanie EKG spoczynkowego i porównanie go z zapisem EKG podczas próby wysiłkowej [6, 11, 30].

### **Hipotermia**

Obniżenie temperatury wewnętrznej ciała poniżej 35°C nazywamy stanem hipotermii. Występuje w momencie wykonywania treningu w zbyt zimnym środowisku. Jak wiadomo podczas zawodów, zawodnicy często są narażeni na takie niekorzystne warunki. Hipotermia wpływa niekorzystnie na działanie układu krążenia i oddechowego, mogą wystąpić uszkodzenia wątroby i nerek. W skrajnych przypadkach obniżenia temperatury, poniżej 25°C może wystąpić nagły zgon spowodowany migotaniem komór serca. Zawodnik, aby wydłużyć czas przebywania w zimnym środowisku, powinien mieć odpowiednio dobrany strój, utrzymujący właściwą temperaturę ciała [9].

### **Zmiany hematologiczne pod wpływem wysiłku fizycznego**

Wysiłek fizyczny wpływa na zmiany objętościowe osocza. W trakcie trwania ćwiczeń objętość osocza zmniejsza się o około 15%, a w okresie powysiłkowym wzrasta. Wzrost objętości osocza następuje dzięki uzupełnianiu płynów, ograniczeniu wydalania wody i sodu przez nerki oraz migracji wody z tkanek do naczyń.

Występuje również zjawisko określane mianem rhabdomyolizy ma miejsce, gdy komórki mięśni szkieletowych w czasie intensywnych wysiłków fizycznych ulegają uszkodzeniom. W wyniku uszkodzeń do krwi wydziela się ich zawartość m.in. mioglobina, enzymy i elektrolity. Nadmierne stężenie tych substancji może doprowadzić do uszkodzenia niektórych narządów w szczególności nerek. W zaawansowanych przypadkach występuje ból, obrzęk i osłabienie mięśni, a kolor moczu staje się ciemniejszy na skutek mioglobinurii, czyli obecności cząsteczek mioglobiny w moczu. Rhabdomyoliza może przebiegać także bezobjawowo. Na przypadłość tę, narażeni są głównie sportowcy poddani intensywnemu wysiłkowi fizycznemu lub osoby niewytrenowane [2, 21].

Prawidłowe stężenie glukozy we krwi wynosi 4,0-5,5 mmol/l. Znaczące obniżenie stężenia glukozy doprowadza do hipoglikemii, szkodliwie wpływając na organizm, głównie na ośrodkowy układ nerwowy. Sytuacja ta, zmusza zawodnika do zaprzestania treningu w przeciwnym wypadku może spowodować utratę przytomności.

Duża liczba zniszczonych erytrocytów w czasie intensywnych treningów określana jest hemolizą powysiłkową. Niszczenie erytrocytów spowodowane jest ich

przeciskaniem się przez naczynia włosowate oraz wpływem czynników mechanicznych, do których należą:

- wzrost zakwaszenia, ciśnienia i temperatury ciała,
- zmiany objętościowe czerwonych krwinek,
- skurcze mięśni powodujące ucisk na naczynia,
- stres oksydacyjny.

Dynamiczne treningi powodują też niedobory żelaza skracając czas życia erytrocytów. Niedobór żelaza powoduje wzrost produkcji mleczanów w trakcie ćwiczeń, co skutkuje obniżeniem poziomu wydolności organizmu. U osób trenujących zasoby żelaza wydalane są głównie z moczem oraz w mniejszym stopniu z potem.

Na skutek wysiłku fizycznego może wystąpić leukocytoza wysiłkowa powodująca wzrost stężenia granulocytów obojętnochłonnych oraz w mniejszym stopniu limfocytów i monocytów. Komórki układu białokrwinkowego przez szybszy przepływ krwi odrywają się od śródbłonka i trafiają do krwiobiegu [5, 16, 18].

### **Zespół przetrenowania sportowców**

Przypadłość ta występuje w momencie niewłaściwych proporcji obciążenia treningiem do wypoczynku. Zawodnikowi takiemu znacznie spada zdolność do wykonywania ćwiczeń. Objawia się to ogólnym osłabieniem organizmu, mniejszą siłą mięśni, zaburzeniami w precyzji i koordynacji wykonywanych ruchów. W wyniku przetrenowania zawodnik może doznać poważnych urazów lub odnowić stare wyleczone kontuzje. Stan ten objawia się także niemożnością poprawy własnych wyników, co powoduje niepewność i lęk zawodnika przed zawodami. Czynnikiem powodującym stan przetrenowania jest niewłaściwy proces przeprowadzania treningu, często o zbyt dużym obciążeniu. Dlatego bardzo ważne jest odpowiednie opracowanie planu treningowego, znalezienie czasu na wypoczynek oraz ciągła obserwacja stanu zdrowia zawodnika [22].

### **References**

1. Bielski J. (2012). Podstawowe problemy teorii wychowania fizycznego. Impuls, Kraków, s. 15-21.
2. Bobilewicz D. M. (2011). Rabdomioliza: gdzie i kiedy? In *Vitro Explorer* przegląd medycyny laboratoryjnej, vol. 2, nr 12, 3-6.
3. Bobińska K., Szemraj J., Pietras T., Zboralski K., Gałęcki P., (2008). Neuropeptyd Y- budowa, receptory, działanie i miejsce w psychiatrii. *Psychiatria Polska*, vol. 42, nr 6, 889-901.

4. Booth F.W., Chakravarthy M.V., Spangenburg E.E., (2002). Exercise and gene expression: physiological regulation of the human genome through physical activity. *J Physiol*, vol. 543, nr 2, 399-411.
5. Borkowski J., (2009). *Bioenergetyka i biochemia tlenowego wysiłku fizycznego*. Wydawnictwo AWF Wrocław, Wrocław.
6. Budruk P., Burduk P.K., Śliwka K., Bloch-Bogusławska E., (1998). Nagła śmierć a wysiłek fizyczny. *Archiwum Medycyny Sądowej i Kryminologii*, vol. 48, 127-133.
7. Chabros E., Charzewska J., Rogalska-Niedźwiedź M., Wajszczyk B., Chwojnowska Z., Fabiszewska J., (2008). Mała aktywność fizyczna młodzieży w wieku pokwitania sprzyja rozwojowi otyłości. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, vol. 89, 58-61.
8. Ciężczyk P., Maciejewska A., Sawczuk M., (2008). Badania genetyczne w sporcie. *International Association of Ontokinesiologists*, Szczecin.
9. Czarkowska-Pączek B., Przybylski J., (2006). *Zarys fizjologii wysiłku fizycznego*. Elsevier Urban & Partner, Wrocław.
10. Domańska D., Pelczar M., Brzezińska E., Jegier A., (2013). Wpływ wybranych polimorfizmów genu ADRB2 na wydolność fizyczną i skuteczność leczenia przewlekłych chorób zapalnych układu oddechowego- astmy i przewlekłej obturacyjnej choroby płuc- u sportowców. *Medycyna Sportowa*, vol. 29, nr 4, 207-213.
11. Drygas W., Jegier A., (2003). Zalecenia dotyczące aktywności ruchowej w profilaktyce chorób układu krążenia. *Czynniki Ryzyka*, nr 38/39, 76-84.
12. Fortuna M., (2012). *Podstawy kształtowania zdolności wysiłkowej tlenowej i beztlenowej*. Wydawnictwo Kolegium Karkonoskie w Jeleniej Górze.
13. Galicka A. (2012). Mutacje genów niekolagenowych we wrodzonej łamliwości kości – znaczenie produktów tych genów w biosyntezie kolagenu i patogenezie choroby. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, nr 66, 359-361.
14. Gąsiorowski A., (2008). *Anatomia funkcjonalna narządu ruchu człowieka*. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
15. Godlewski P., (2011). *Globalny i lokalny wymiar współczesnego sportu*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, s. 9-22.
16. Górski J., (2006). *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*. Wydawnictwo lekarskie PZWL, Warszawa.

17. Górski J., (2011). Fizjologia wysiłku i treningu fizycznego. Wydawnictwo lekarskie PZWL, Warszawa.
18. Hubner-Woźniak E., Lutosławska G., (2000). Podstawy biochemii wysiłku fizycznego. Centralny Ośrodek Sportu, Warszawa.
19. Jaskólska A., Jaskólski A., (2005). Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego z zarysem fizjologii człowieka. Wrocław.
20. K. Birch., D. MacLaren., K. George., (2005). Fizjologia sportu. Krótkie wykłady. PWN.
21. Matuszkiewicz-Rowińska J., Jędras M., Shebani Z., Żebrowski P., Kulicki P., Przedlacki J., (2012). Masywna rabdomioliza w wyniku godzinowego ćwiczenia na rowerze stacjonarnym: opis przypadku i przegląd piśmiennictwa. *Nefrologia i Dializoterapia Polska*, vol.16, nr 4, 190-192.
22. Mędraś M., (2004). *Medycyna Sportowa*. Medsportpress, Warszawa, s. 133-143.
23. Popinigis J., (2002). O tlenie, mitochondriach i adaptacji do wysiłku wytrzymałościowego, czyli od Holloszy'ego 1967 do Holloszy'ego 2002. *Sport Wyczynowy*, nr 9-10, 453-454.
24. Ronkier A., (2008). *Fizjologia wysiłku w sporcie, fizjoterapii i rekreacji*. Centralny ośrodek sportu, Warszawa, s. 7-13.
25. Shiota T., (2014). Role of modern 3D echocardiography in vavular heart disease. *Korean J Intern Med*, vol. 29, nr 6, 685-702.
26. Sowa-Lewandowska K.: ABC wysiłku fizycznego. Dostępny w: [<http://laboratoria.net/artukul/12716.html>] 21.02.2012.
27. Stępień-Wyrobiec O., Hrycek A., Wyrobiec G., (2008). Transformujący czynnik wzrostu beta (TGF-beta)– budowa, mechanizmy oddziaływania oraz jego rola w patogenezie tocznia rumieniowatego układowego. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, vol. 66, 688-693.
28. Tkaczuk-Włach J., Sobstyl M., Jakiel G., (2010). Osteoporoza- obraz kliniczny, czynniki ryzyka i diagnostyka. *Przegląd Menopauzalny*, vol. 2, 113–117.
29. Wikipedia: Wolna encyklopedia. Dostępny w: [<http://pl.wikipedia.org/wiki/Galen>]. 24.12.2014.
30. Wrzosek K., Mamcarz A., Braksator W., (2005). Wybrane problemy kardiologii sportowej. *Choroby serca i naczyń*, vol. 2, nr 4, 179-186.
31. Żołądź J.A., (2003). Co warunkuje siłę, moc i wytrzymałość mięśni szkieletowych człowieka? StatSoft Polska.